

Toni Dwi Putra & Agung Prasetyo (2018), PROTON, Vol. 10 No. 2/ Hal. 12-19

## PENGARUH SUDU HYDROFOIL NACA 9407 TERHADAP EFISIENSI TURBIN ALIRAN SILANG (CROSS-FLOW) PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH)

Toni Dwi Putra, Agung Prasetyo

*Jurusan Teknik Mesin Universitas Widyagama Malang*

Email : [toni@widyagama.ac.id](mailto:toni@widyagama.ac.id)

### ABSTRAK

*Perancangan dan pembuatan runner turbin cross flow mempunyai pengaruh yang besar terhadap efisiensinya. Hal-hal yang harus dipertimbangkan dalam perancangan dan konstruksi roda jalan turbin aliran silang diantaranya adalah jumlah sudu, ketebalan sudu, kelengkungan sudu dan bentuk profil sudu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi penggunaan jenis sudu hydrofoil NACA 9407 dan sudu radius pada konstruksi mikrohidro aliran silang. Manfaat dari penelitian ini yaitu untuk mendapatkan informasi penggunaan hydrofoil NACA 9407 pada runner turbin air crossflow pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Hasil penelitian diharapkan dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam menentukan jenis sudu turbin yang tepat agar kinerja turbin menjadi optimal. Penelitian dilakukan dengan studi eksperimental menggunakan runner berdiameter 120 mm, panjang 120 mm, jumlah sudu 12 buah. Pengujian dilakukan pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) skala laboratorium dengan membandingkan runner dengan menggunakan sudu Hydrofoil NACA 9407 dan sudu radius biasa. Dalam penelitian ini ketinggian muka air/head hasil pengukuran pada pengujian adalah 4 m dan variasi pembebanan pada runner dari 0 kg (tanpa pembebanan) 1 kg dan 2 kg menggunakan alat uji timbangan tarik (rope brake). Putaran runner diukur menggunakan tachometer. Hasil dari penelitian didapatkan efisiensi yang tertinggi pada turbin crossflow sudu NACA 9407 dapat mencapai nilai 0,75 % pada putaran poros sebesar 128,4 (RPM) pada pembebanan poros 2 kg dan daya turbin tertinggi sebesar 1,344 Watt.*

**Kata kunci :** *Runner, Turbin aliran silang, Hydrofoil NACA 9407.*

### PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi sumber daya energi yang ramah lingkungan dan terbarukan cukup besar. Salah satu jenis energi terbarukan tersebut adalah tenaga air skala kecil atau sering disebut mikrohidro. Teknologi mikrohidro ini telah lama dikembangkan oleh masyarakat sebagai sumber energi di Indonesia. Persyaratan pokok pada sebuah pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) adalah cukup tersedianya kapasitas aliran air (*Debit*) dan tinggi jatuh air (*Head*). Air dikondisikan dengan teknik tertentu kemudian dialirkan ke dalam turbin sebagai penggerak mula. Bagian turbin yang disebut sudu-sudu (*Blade*) akan menerima aliran atau tumbukan air sehingga akan memutar poros roda jalan (*Runner*) turbin. Putaran poros *runner* turbin inilah yang akan ditransmisikan memutar generator untuk menghasilkan energi listrik. Turbin air skala kecil (mikrohidro) yang digunakan di Indonesia sebagian besar adalah turbin aliran silang (*cross-flow*). Havinato, J. (2009) menyatakan turbin cross-flow merupakan jenis turbin yang dikembangkan oleh *Anthony Michell* (Australia), *Donat Banki* (Hongaria) dan *Fritz Ossberger* (Jerman). Turbin cross-flow dapat dioperasikan pada debit 20 litres/sec hingga 10 m<sup>3</sup>/sec dan head antara 1 s/d 200 m. Beberapa keunggulan turbin *cross-flow* diantara kisaran operasi yang luas, sebagai alternatif Turbin Francis, pengaturan efisiensi yang tetap tinggi

pada debit rendah, mudah dan murah namun juga memiliki keterbatasan yaitu efisiensi lebih rendah dan pengaturan secara *loadcontrol*. Dengan mengansumsikan sayap pesawat sebagai sudu turbin hanya perbedaan fluida yang bekerja maka dalam penelitian ini memakai jenis sudu seperti yang digunakan pada sayap pesawat dengan seri hydrofoil NACA 9407 untuk meningkatkan performa mikrohidro, karena jika energi yang dikonversikan kecepatan air ke kecepatan sudu semakin tinggi maka energi yang dibangkitkan semakin besar.

### Turbin Air

Turbin air merupakan suatu pembangkit mula-mula yang memanfaatkan energi potensial air menjadi energi mekanik dimana air memutar roda turbin. Air yang berada pada ketinggian tertentu memiliki energi potensial. Ketika air mengalir ke tempat yang lebih rendah energi potensial berubah menjadi energi kinetik. Oleh turbin air, energi kinetik dirubah menjadi energi mekanik. Perkembangan waterwheel, pertama kali digunakan oleh orang-orang Yunani dan dipergunakan luas pada abad pertengahan di Eropa. Selanjutnya berangsur-angsur muncul berbagai jenis turbin air seperti turbin pelton yang ditemukan oleh *Lester A. Pelton* pada abad ke-19 dan turbin Kaplan yang ditemukan oleh *Viktor Kaplan* pada abad ke-20 (Dixon & Hall, 2010).

### Prinsip Kerja Turbin Air

Secara umum prinsip kerja dari turbin air ini adalah aliran air di dalam pipa pesat yang mengandung energi diarahkan ke roda turbin melalui nozzle, kemudian energi yang di dalam air ini pada roda turbin di ubah bentuknya menjadi energi mekanik berupa putaran. Putaran roda turbin inilah yang dimanfaatkan untuk menggerakkan suatu beban, salah satu contohnya adalah untuk menggerakkan generator pembangkit listrik. Konstruksi dasar dari turbin air terdiri dari dua bagian utama yaitu rotor dan stator. Rotor adalah bagian-bagian dari turbin yang bergerak atau berputar seperti roda turbin (runner), poros, kopling, roda gaya, pully dan bagian-bagian dari turbin yang diam seperti saluran masuk (pipa pesat), rumah-rumah, sudu antar, sudu pengarah (nozzle), saluran buang dan lain-lain.

### Klasifikasi Turbin Air

Berdasarkan perubahan momentum fluida kerjanya turbin air dapat dibagi atas dua tipe yaitu :

1. Turbin Impuls
2. Turbin Reaksi

Berdasarkan model aliran air masuk *runner*, maka turbin air dapat dibagi menjadi tiga tipe yaitu :

1. Turbin Aliran Tangensial
2. Turbin Aliran Aksial
3. Turbin Aliran Aksial – Radial

Dalam hal ini pengoperasian turbin air disesuaikan dengan potensi *head* dan debit yang ada yaitu :

1. *Head* yang rendah yaitu dibawah 40 meter tetapi debit air yang besar, maka *Turbin Kaplan* atau *propeller* cocok digunakan untuk kondisi seperti ini.
2. *Head* yang sedang antara 30 sampai 200 meter dan debit relatif cukup, maka untuk kondisi seperti ini gunakanlah *Turbin Francis* atau *Cross-flow*.
3. *Head* yang tinggi yakni di atas 200 meter dan debit sedang, maka gunakanlah turbin impuls jenis *Pelton*.

Setiap turbin air memiliki nilai kecepatan spesifik. Tabel 1 menjelaskan batasan kecepatan spesifik untuk beberapa turbin konvensional (Lal, Jagdish, 1975).

Tabel 1 Kecepatan Spesifik Turbin Konvensional

No.	Jenis Turbin	Kecepatan Spesifik
1.	<i>Pelton dan kincir air</i>	10 - 35
2.	<i>Francis</i>	60 - 300
3.	<i>Cross-flow</i>	70 - 80
4.	<i>Kaplan dan propeller</i>	300 - 1000

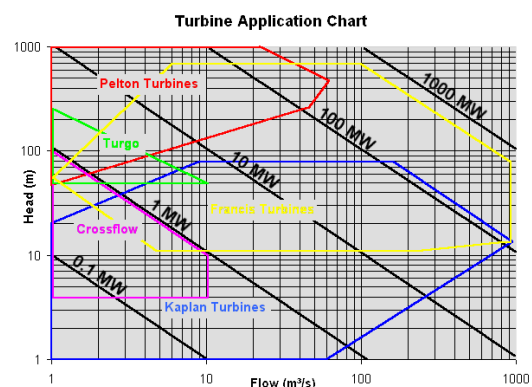
Besar tenaga kuda ( $P$ ) yang dihasilkan oleh sebuah turbin akan tergantung pada  $Q$  maupun  $h$ . Turbin pelton menghasilkan tenaga > 330.000 dk. Turbin Kaplan > 150.000 dk dan Turbin Francis > 820.000 dk.

### Pemilihan Jenis Turbin

Pemilihan jenis turbin dapat ditentukan berdasarkan kelebihan dan kekurangan dari jenis-jenis turbin untuk desain yang sangat spesifik. Tahap awal, pemilihan jenis turbin dapat di perhitungkan dengan memperhitungkan parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin, yaitu :

1. Faktor tinggi jatuhnya efektif air (tinggi jatuh net) atau aliran air (kecepatan) dan debit air.
2. Faktor daya yang diinginkan berkaitan dengan debit dan *tinggi jatuh* yang tersedia
3. Faktor kecepatan putar turbin yang akan ditransmisikan ke generator.

Ketiga faktor diatas sering digunakan untuk menentukan (kecepatan spesifik turbin). Pemilihan jenis turbin dapat dilakukan dengan melihat grafik karakteristik hubungan antara *tinggi jauh* net (m) dan debit aliran ( $m^3/s$ ) agar didapatkan jenis turbin yang cocok sesuai dengan kondisi pengoperasiannya (Penche & Minas, 1998)



Gambar 1 Karakteristik pemilihan jenis turbin tergantung head (m) dan debit air ( $m^3/s$ ).

### Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hydro (PLTMH) adalah turbin air yang dapat menghasilkan daya kurang dari 100 kW dan sumber airnya relatif kecil. Persyaratan pokok pada sebuah PLTMH adalah cukup tersedianya kapasitas aliran air (*debit*) dan tinggi jatuh air (*head*). Penggerak mula PLTMH dapat menggunakan berbagai macam jenis turbin air, baik jenis turbin reaksi maupun turbin impuls. Bentuk turbin yang dipilih pada simulasi ini adalah turbin *cross-flow*. Simulasi diarahkan pada pemilihan jenis sudu dan pengaruhnya terhadap putaran, daya, dan efisiensi turbin. Daya guna kincir air dari jenis yang paling unggul

sekalipun hanya mencapai 70% sedang efisiensi turbin *cross-flow* mencapai 82%.

Komponen yang digunakan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro baik komponen utama maupun bangunan penunjang antara lain :

1. Bendung pengalihan / *Diversion weir*
2. Lubang intake / *Intake orifice*
3. Pintu intake / *Intake gate*
4. Bak pengendap pasir / *Settling basin – sandtrap*
5. Saluran pembawa / *Headrace channel*
6. Saluran pelimpah / *Spillway and spillway channels*
7. Bak penenang / *Forebay*
8. Pipa pesat / *Penstock*
9. Rumah pembangkit / *Powerhouse*
10. Saluran pembuang / *Tailrace channel*
11. Turbin
12. Transmisi mekanik (*drive system*)
13. Sistem kontrol / *Control system*
14. Generator

### Turbin Tipe Cross-flow

Turbin Cross-flow adalah salah satu turbin air dari jenis turbin aksi (*impulse turbine*). Prinsip kerja turbin ini mula-mula ditemukan oleh seorang insinyur Australia yang bernama A.G.M. *Michell* pada tahun 1903. Kemudian turbin ini dikembangkan dan dipatenkan di Jerman Barat oleh *Prof. Donat Banki* sehingga turbin ini diberi nama *Turbin Banki* kadang disebut juga *Turbin Michell-Ossberger*.

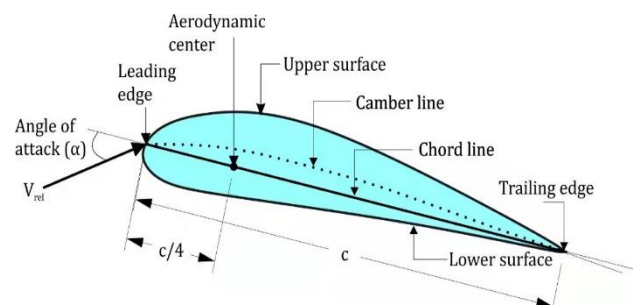
Pemakaian jenis *Turbin Cross-flow* lebih menguntungkan dibanding dengan penggunaan kincir air maupun jenis turbin mikro hidro lainnya. Penggunaan turbin ini untuk daya yang sama dapat menghemat biaya pembuatan penggerak mula sampai 50 % dari penggunaan kincir air dengan bahan yang sama. Penghematan ini dapat dicapai karena ukuran *Turbin Cross-flow* lebih kecil dan lebih kompak dibanding kincir air. Diameter kincir air yakni roda jalan atau runnernya biasanya 2 meter ke atas, tetapi diameter *Turbin Cross-flow* dapat dibuat hanya 20 cm saja sehingga bahan-bahan yang dibutuhkan jauh lebih sedikit, itulah sebabnya bisa lebih murah. Demikian juga daya guna atau efisiensi rata-rata turbin ini lebih tinggi dari pada daya guna kincir air. Hasil pengujian laboratorium yang dilakukan oleh pabrik turbin *Ossberger* Jerman Barat yang menyimpulkan bahwa daya guna kincir air dari jenis yang paling unggul sekalipun hanya mencapai 70 % sedang efisiensi turbin *Cross-flow* mencapai 82 % (*Haimperl, L.A., 1960* ). Tingginya efisiensi *Turbin Cross-flow* ini akibat pemanfaatan energi air pada turbin ini dilakukan dua kali, yang pertama energi tumbukan air pada sudu-sudu pada saat air mulai masuk, dan yang kedua adalah daya dorong air pada sudu-sudu saat air akan meninggalkan

*runner*. Adanya kerja air yang bertingkat ini ternyata memberikan keuntungan dalam hal efektifitasnya yang tinggi dan kesederhanaan pada sistim pengeluaran air dari *runner*. Turbin *Cross-flow* secara umum dapat dibagi dalam dua tipe yaitu :

1. Tipe T1, yaitu *Turbin Cross-flow* kecepatan rendah.
2. Tipe T3, yaitu *Turbin Cross-flow* kecepatan tinggi.

### Airfoil NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*)

NACA *airfoil* adalah salah satu bentuk bodi aerodinamika sederhana yang berguna untuk dapat memberikan gaya angkat tertentu terhadap suatu bodi lainnya dan dengan bantuan penyelesaian matematis sangat memungkinkan untuk memprediksi berapa besarnya gaya angkat yang dihasilkan oleh suatu bodi *airfoil*. Geometri *airfoil* memiliki pengaruh besar terhadap karakteristik aerodinamika dengan parameter penting berupa CL, dan kemudian akan terkait dengan lift (gaya angkat yang dihasilkan). Pengujian yang dilakukan NACA lebih sistematis dengan membagi pengaruh efek kelengkungan dan distribusi ketebalan atau thickness serta pengujiannya dilakukan pada bilangan Reynold yang lebih tinggi dibanding yang lain. Hal ini sering dirangkum oleh beberapa parameter seperti: ketebalan maksimum, maksimum bentuk melengkung, posisi max ketebalan, posisi maks bentuk melengkung, dan hidung jari-jari. Seperti terlihat pada gambar dibawah ini suatu *airfoil* terdiri dari:



Gambar 2 Nomenklatur Airfoil

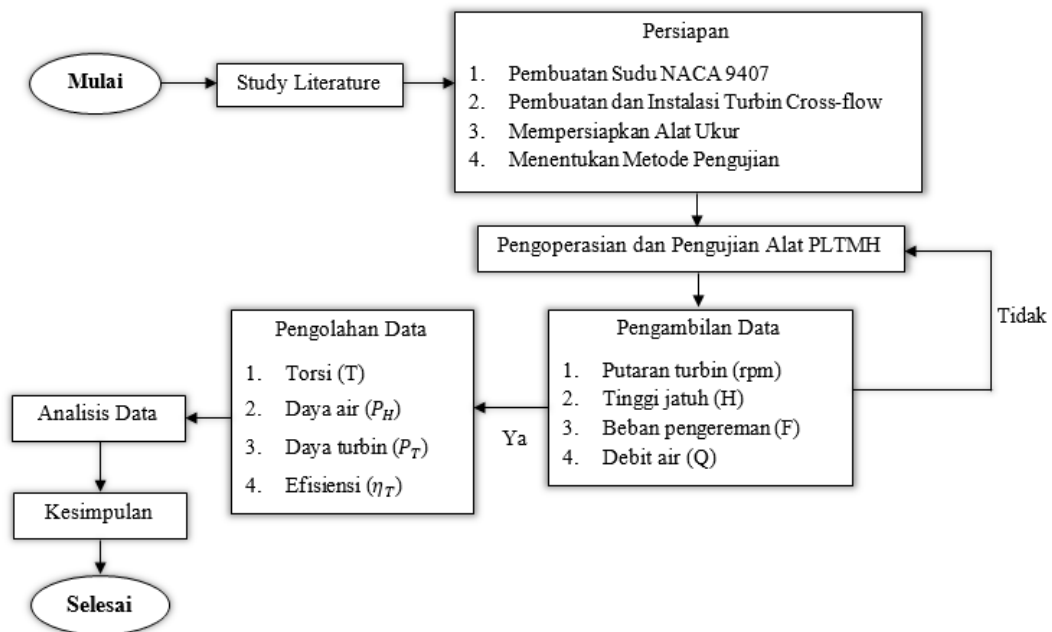
### Macam-macam Airfoil

Menurut Bentuknya	Menurut Serial Nummernya
1. Symetrical	1. NACA Seri 4 Digit
2. Semi-symetrical	2. NACA Seri 5 Digit
3. Flat bottom	3. NACA Seri-1 (Seri 16)
4. Under chambered	4. NACA Seri 6
5. Reflexed airfoil	5. NACA Seri 7
	6. NACA Seri 8

## METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari langkah langkah berikut :

1. Melakukan studi literatur untuk mencari data data dan teori yang berkaitan dengan PLTMH ini. Selain itu, kami mencari informasi mengenai penelitian yang pernah dilakukan yang punya kaitan terhadap penelitian kami.
2. Melakukan studi lapangan untuk mengetahui keadaan sebenarnya pada titik-titik dimana alat kami akan diuji. Semua parameter kami catat, sehingga data-data yang dimasukkan ke dalam persamaan persamaan yang akan dipakai tidak diragukan validitasnya.
3. Merencanakan desain alat meliputi bentuk, material, komponen-komponen yang digunakan.
4. Membeli alat dan membangun sistem yang sudah direncanakan. Lalu menguji keandalan alat, dan membuktikan hipotesis yang telah di deklarasikan pada awal penelitian.
5. Pengambilan dan pengumpulan data yang dibutuhkan dalam proses penelitian untuk memperoleh informasi dalam rangka mencapai tujuan penelitian.
6. Mengolah data yang diperoleh dari hasil penelitian dengan rumus/persamaan yang telah ditentukan.
7. Menganalisa data dengan mengolah data hasil dari penelitian menjadi informasi yang nantinya digunakan untuk mengambil kesimpulan.
8. Menyimpulkan hasil penelitian dalam laporan skripsi.



Gambar 5 Diagram Alir

## Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari:

1. Variabel bebas terdiri dari : kapasitas aliran air ( $m/s^3$ ), variasi pembebanan (Kg), head/tinggi jatuh (m), luas penampang ( $m^2$ ), jumlah sudu.
2. Variabel terikat diperoleh dalam penelitian ini adalah: daya turbin (watt), daya air (watt), torsi (Kg.m), efisiensi turbin (%).

## Prosedur Pengambilan Data

Prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pembuatan Sudu
2. Pembuatan Runner
3. Pembuatan Alat Uji Turbin Air Cross-flow Skala Laboratorium

4. Proses Pengujian dengan Menggunakan Turbin Air Cross-flow
5. Pengamatan Pengujian
6. Proses Pengambilan Data

Dalam pengujian turbin cross-flow hasil yang diharapkan adalah mendapatkan daya dan efisiensi. Proses pengambilan data dilakukan dengan mengacu persamaan berikut:

1. Luas Penampang Ujung Nozzle  

$$A = (\text{luas persegi orifice}) - (\text{luas persegi jarum nozzle})$$
2. Gaya Dorong Pancaran Air terhadap Sudu  

$$F = Q \cdot \rho \cdot V$$
3. Kapasitas aliran air (Debit)  

$$Q = V \cdot A$$
4. Torsi  

$$T = F \cdot r$$

5. Daya air (Daya hidrolis)

$$P_H = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H$$

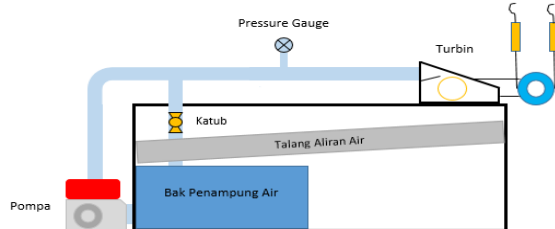
6. Daya turbin

$$P_T = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot T}{60}$$

7. Efisiensi turbin

$$\eta_T = \frac{P_T}{P_H} \cdot 100\%$$

### Rancangan Alat Penelitian



Gambar 3 Skema perancangan alat



Gambar 4 Alat uji turbin crossflow

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Data Hasil Penelitian

Tabel 2 Data sudu radius

No	Beda Beban (kg)	Bukaan Guide Vane	Putaran Poros (rpm)	Debit Air (m <sup>3</sup> /s)	P <sub>gauge</sub> (bar)
1	0	Penuh	335	4,6.10 <sup>-3</sup>	0,4
			393		
			354		
			367		
			358		
Rata-rata			361,4	4,6.10 <sup>-3</sup>	0,4
2	1	Penuh	150	4,6.10 <sup>-3</sup>	0,4
			156		
			161		
			171		
			152		
Rata-rata			158	4,6.10 <sup>-3</sup>	0,4
3	2	Penuh	84	4,6.10 <sup>-3</sup>	0,4
			68		
			54		
			58		
			72		
Rata-rata			67,2	4,6.10 <sup>-3</sup>	0,4

### Perhitungan Data Penelitian

Data dihitung sesuai dengan cara memasukkan ke persamaan acuan sehingga diperoleh hasil perhitungan yang ditampilkan dalam tabel 4 dan 5 berikut ini.

Tabel 3 Data sudu NACA 9407

No	Beda Beban (kg)	Bukaan Guide Vane	Putaran Poros (rpm)	Debit Air (m <sup>3</sup> /s)	P <sub>gauge</sub> (bar)
1	0	Penuh	371	4,6.10 <sup>-3</sup>	0,4
			374		
			388		
			381		
			395		
Rata-rata			381,8	4,6.10 <sup>-3</sup>	0,4
2	1	Penuh	162	4,6.10 <sup>-3</sup>	0,4
			170		
			167		
			173		
			165		
Rata-rata			167,4	4,6.10 <sup>-3</sup>	0,4
3	2	Penuh	127	4,6.10 <sup>-3</sup>	0,4
			128		
			130		
			132		
			125		
Rata-rata			128,4	4,6.10 <sup>-3</sup>	0,4

Tabel 4 Hasil rata-rata perhitungan sudu radius

No	Beda Beban (kg)	Bukaan Guide vane	Putaran Poros (rpm)	Torsi Turbin (Kg.m)	Daya Air (Watt)	Daya Turbin (Watt)	Effisiensi Turbin (%)
1	0 kg	Penuh	361,4	0	180,32	0	0
2	1 kg	Penuh	158	0,05	180,32	0,827	0,46
3	2 kg	Penuh	67,2	0,1	180,32	0,703	0,39

Tabel 5 Hasil rata-rata perhitungan sudu NACA 9407

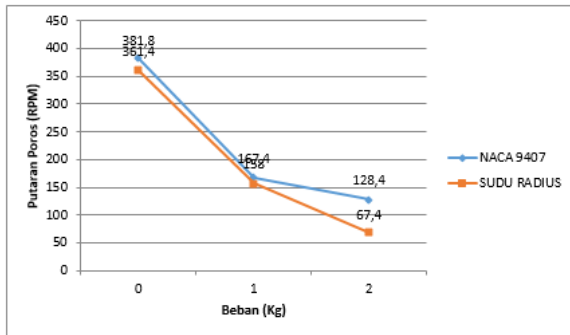
No	Beda Beban (kg)	Bukaan Guide vane	Putaran Poros (rpm)	Torsi Turbin (Kg.m)	Daya Air (Watt)	Daya Turbin (Watt)	Effisiensi Turbin (%)
1	0 kg	Penuh	381,8	0	180,32	0	0
2	1 kg	Penuh	167,4	0,05	180,32	0,876	0,49
3	2 kg	Penuh	128,4	0,1	180,32	1,344	0,75

### Analisis dan Pembahasan

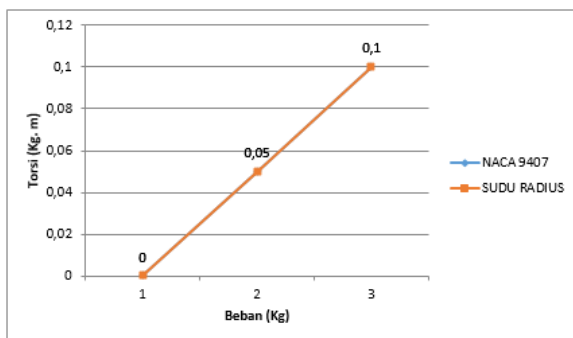
Pengujian yang dilakukan ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik operasional dari turbin air dengan variasi beban untuk sudu seri NACA 9407. Setelah melakukan perhitungan untuk mengetahui beberapa parameter dari hasil penelitian ini, hasilnya dianalisis dalam bentuk grafik-grafik hubungan berikut.

Grafik pada Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diterima oleh poros turbin maka putaran yang dapat dihasilkan oleh poros akan semakin menurun. Penurunan putaran poros turbin ini diakibatkan karena adanya beban yang diterima oleh poros turbin sehingga mempengaruhi besarnya putaran yang dapat dihasilkan oleh turbin air *cross-flow*.



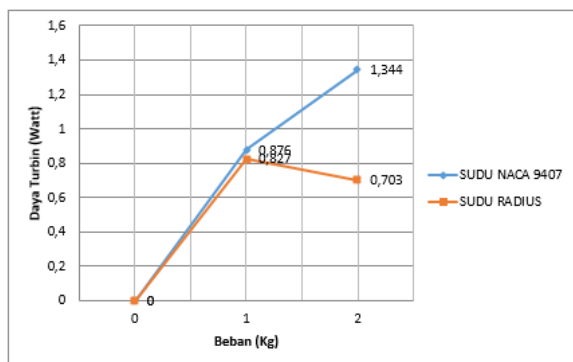


Gambar 5 Grafik Hubungan antara Beban terhadap Putaran Poros Turbin



Gambar 6 Grafik Hubungan antara Beban terhadap Torsi

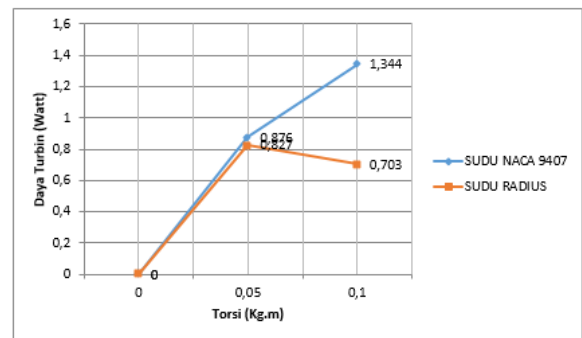
Grafik pada Gambar 6 menunjukkan bahwa hubungan antara Torsi dan beban adalah berbanding lurus, hal ini di buktikan dengan semakin tinggi beban maka torsi yang dihasilkanpun akan semakin besar pula. Kenaikan nilai torsi ini diakibatkan karena bertambahnya gaya yang bekerja pada sudu di turbin air *cross-flow*, nilai torsi sudu turbin Radius dan NACA 9407 pada beban 2 kg memiliki torsi yang sama yaitu sebesar 0,1 (kg.m).



Gambar 7 Grafik Hubungan antara Beban terhadap Daya Turbin

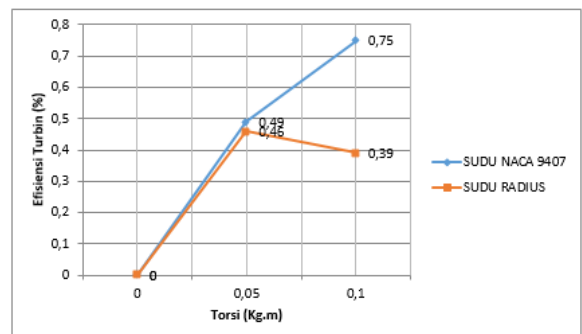
Grafik pada Gambar 7 menunjukkan hubungan antara beban terhadap daya turbin menunjukkan bahwa semakin besar pembebanan yang di berikan maka semakin besar daya turbin yang dihasilkan akan tetapi kenaikan tersebut tidak terus menerus terjadi karena pada saat beban mencapai 2 kg daya turbin yang dihasilkan sudu radius semakin kecil. Hal tersebut diakibat oleh

penurunan gaya-gaya sudu, maka putaran yang terjadi pada turbin akan turun sehingga mempengaruhi nilai dari daya turbin yang dapat dihasilkan oleh turbin air *cross-flow*, dapat dilihat pada grafik sudu NACA 9407 mendominasi besarnya daya turbin dimana daya turbin yang dihasilkan tertinggi pada beban 2 kg dengan daya 1,344 watt, sedangkan pada sudu radius daya turbin tertinggi berada pada beban 1 kg yaitu sebesar 0,827 watt.



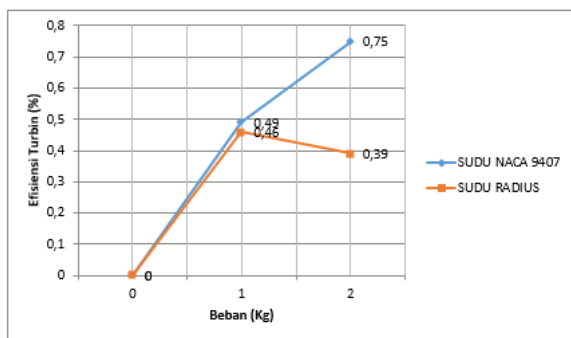
Gambar 8 Grafik Hubungan antara Torsi terhadap Daya Turbin

Grafik hubungan antara torsi terhadap daya turbin menunjukkan bahwa semakin besar nilai torsi maka akan semakin besar nilai yang dihasilkan daya turbin. Tetapi pada saat torsi sudah mencapai nilai 0,1 kg.m daya turbin radius menurun yang dipengaruhi oleh nilai putaran yang makin kecil akibat besarnya beban yang harus di tanggung oleh poros walaupun torsi nya semakin besar akan tetapi karena putaran yang dihasilkan kecil maka daya turbin yang dihasilkanpun akan turun, sedangkan pada sudu NACA 9407 mengalami peningkatan pada setiap nilai torsi yang diberikan. Dari grafik diatas maka daya tertinggi yang dihasilkan oleh sudu NACA 9407 adalah 1,344 Watt yaitu pada torsi 0,1 kg.m sedangkan pada sudu radius daya tertinggi turbin berada pada torsi 0,05 kg.m yaitu sebesar 0,827 Watt.



Gambar 9 Grafik Hubungan Antara Torsi Terhadap Efisiensi Turbin

Grafik hubungan antara torsi terhadap efisiensi turbin menunjukkan bahwa torsi berbanding lurus dengan efisiensi turbin hingga pada titik torsi dengan nilai 0,1 kg.m untuk sudu hydrofoil NACA 9407 dan 0,05 kg.m untuk sudu radius, akan tetapi untuk sudu radius setelah titik torsi tersebut nilai efisiensinya berbanding terbalik dengan nilai torsi. Penurunan nilai efisiensi turbin ini diakibatkan oleh penurunan gaya-gaya yang bekerja pada sudu turbin sehingga putaran yang dihasilkan akan menurun dan otomatis daya turbin yang dihasilkan juga akan menurun sehingga mengakibatkan nilai efisiensinya akan mengalami penurunan. Sudu NACA 9407 memiliki efisiensi yang lebih baik daripada sudu radius yaitu pada torsi 0,1 (kg.m) efisiensinya mencapai 0,75 % sedangkan sudu radius torsi tertingginya pada 0,05 kg.m dengan efisiensi sebesar 0,46%.



Gambar 10 Grafik Hubungan Antara Beban Terhadap Efisiensi Turbin

Grafik pada Gambar 10 menunjukkan hubungan antara efisiensi dan besarnya beban yang diberikan (0-2 kg). Perubahan variasi beban ini memberikan pengaruh besar terhadap perubahan setiap variabel yang ada, mulai dari putaran poros, torsi, daya turbin yang pada akhirnya akan menurunkan efisiensi turbin, bila dilihat pada grafik maka sudu NACA 9407 jauh lebih unggul nilai efisiensinya yaitu pada beban 2 kg efisiensinya mencapai 0,75% sedangkan sudu radius efisiensi tertingginya terletak pada beban 1 kg dengan efisiensi 0,46 %.

## KESIMPULAN

Dari pengujian pembangkit listrik tenaga mikrohidro menggunakan sudu standar radius dan sudu turbin NACA 9407 yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa variasi pembebanan dalam pengujian turbin crossflow ini adalah 0 kg (tanpa pembebanan), 1 kg dan 2 kg, dan menghasilkan torsi turbin tertinggi sebesar 0,1(kg.m). Besarnya torsi pada turbin air *cross-flow* berbanding lurus dengan besarnya pembebanan, jadi makin besar beban yang diberikan pada turbin *cross-flow* maka torsi akan semakin besar pula.

Variasi pembebanan pada poros turbin air *cross-flow* dan putaran poros tidak mempengaruhi nilai daya tenaga air yaitu sebesar 180,32 watt. Daya turbin tertinggi yang dihasilkan oleh turbin *cross-flow* dengan sudu NACA 9407 sebesar 1,344 watt pada pembebanan 2 kg dengan putaran poros 128,4 RPM.

Efisiensi tertinggi yang dihasilkan oleh turbin *cross-flow* yang menggunakan sudu NACA 9407 adalah 0,75% pada putaran poros sebesar 128,4 RPM dengan pembebanan poros 2 kg. Secara keseluruhan sudu NACA 9407 lebih unggul daripada sudu standar radius pada turbin *crossflow*, hal tersebut dapat dilihat dari aspek putaran, pembebanan yang dapat diterima, daya turbin.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmat, Ade. 2009. *Mengukur level dengan pressure*. Teknisi Instrument.
- Arismunandar, Wiranto. 1997. *Penggerak Mula Turbin*. Bandung: ITB
- Atta, Talha. 2014. *Difference between Francis Turbine and Kaplan Turbine*. Green mechanic: Knowledge is free. Bachtiar, Asep Neris. 1988. *Perencanaan Turbin Air Penggerak Generator Listrik Pedesaan*. Tugas Akhir. Padang.
- Bernat, Syukri. 2006. *Dasar-Dasar Merencana Turbin Air*. Makasar: Bintang Lamumpatue
- Dietzel, Fritz. 1996. *Turbin, Pompa dan Kompresor*. Jakarta: Erlangga.
- Dixon, S.L, Hall, C.A. 2010. *Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery Sixth Edition*. USA: Elsevier Inc.
- Haimerl, L.A. 1960. *The Cross-flow Turbine*. Jerman Barat
- IMIDAP. 2010. *Modul Pelatihan Studi Kelayakan Pembangunan Mikrohidro*. Jakarta: Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Lal, Jagdish. 1975. *Hydraulic Machine*. New Delhi: Metropolitan Book Co Private Ltd
- Luknanto, D. 2008. *Diktat Kuliah Bangunan Tenaga Air*. Surabaya: ITS
- Marsan, Kennedy. 2007. *Koefisien Lift Dan Drag Pada Sudu Runner Turbin Aliran Silang Dengan Menggunakan British Profil 9c7/32,5 C50m*. Jurnal Smartek. Vol. 5.
- Masduki. 1984. *Diktat Turbin Air*. Malang: FT Universitas Brawijaya Malang
- Mockmore, C.A., Merryfield, F. 1949. *The Banki Water Turbine*. Bulletin Series No. 25, Engineering Experimental Station, Oregon State System of Higher Education. Oregon State College. Corvallis.
- Nafis, Subhan. 2008. *Skripsi Pemilihan Tipe Turbin pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*.

- Paryatmo, W. 2007. *Turbin Air, Jilid I*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Safril. 2010. *Perencanaan Runner Dan Poros Turbin Cross-flow Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro*. Padang.
- Sardjito. 2010. *Studi Karakteristik Airfoil Naca 2410 Dan Naca 0012 Pada Berbagai Variasi Angle Of Attack*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta, Media Mesin. Vol. 11.
- Soetikno, H., Anggono, T., Heriansyah, A.2002. *Komponen Dasar dalam Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mini-Mikrohidro*. Jakarta: Publikasi P3TEK, Vol. 1.
- Sugiri, Agus. 2011. *Pengaruh Jumlah Sudu Jalan Terhadap Efisiensi Turbin Aliran Silang (Cross-Flow)*. Bandar Lampung: Universitas Lampung, Jurnal Mechanical. Vol. 2.
- Suseno, michael. 2011. *Airfoil*. Teknik Mesin.